10.22092/sppi.2020.123205

"مجله نهال و بذر"
جلد ۳۶، شماره ۲، سال ۱۳۹۹

مقاله پژوهشی

ارزیابی پایداری عملکرد دانه ژنوتیپ های کلزا بهاره با استفاده از تجزیه بای پلات GGE

Evaluation of Seed yield Stability of Spring Rapeseed Genotypes Using GGE Biplot Analysis

حسن امیری اوغان[1]، ولی اله رامئه[2]، ابوالفضل فرجی[3]، حمیدرضا فنایی[4]، نرجس خاتون کازرانی[5] و سیامک رحمانپور[6]

۱و ۶- استادیار، موسسه تحقیقات اصلاح وتهیه و نهال بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

۲- دانشیار، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مازندران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ساری، ایران.

۳- استاد، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان، ایران.

۴- دانشیار، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی سیستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، زابل، ایران.

۵- مربی، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان بوشهر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، برازجان، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۲/۰۶ **تاریخ پذیرش:** ۱۳۹۹/۰۵/۱۴

چکیده

امیری اوغان، ح.، رامئه، و.، فرجی، ا.، فنایی، ح. ر.، کازرونی، ن. خ. و رحمانپور، س. ۱۳۹۹. ارزیابی پایداری عملکرد دانه ژنوتیپ های کلزا بهاره با استفاده از تجزیه بای پلات GGE. **مجله نهال وبذر ۳۶:** ۲۲۲- ۲۰۷.

بررسی اثر متقابل ژنوتیپ × محیط در انتخاب ژنوتیپ‌های برتر نقش مهمی دارد و یکی از مهمترین پدیده ها در برنامه‌های به‌نژادی محصولات زراعی است. به منظور بررسی سازگاری و پایداری عملکرد دانه کلزا در چهار منطقه از اقلیم گرم و خشک جنوب و گرم مرطوب شمال ایران، ۱۶ لاین آزاد گرده افشان کلزای بهاره در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دو سال زراعی (۹۵-۱۳۹۴ و ۹۶-۱۳۹۵) کشت شدند. تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که اثر محیط بر و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط بر عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. تجزیه داده‌ها با استفاده از روش GGE منجر به شناسایی چهار محیط کلان: گرگان (شامل لاین G8)، ساری (شامل لاین G4)، ساری-زابل (شامل لاین G13) و زابل (شامل لاین G10) شد. لاین‌های G4 (آسا)، G8 (روشنا) و G13 (آرام) به‌ترتیب با ۲۵۸۱، ۲۵۰۹ و ۲۷۷۴ کیلوگرم در هکتار دارای بالاترین میانگین عملکرد دانه و پایداری عملکرد بودندکه در بین آنها لاین G4 بیشترین پایداری عملکرد را داشت. رقم G11 (شاهد) با ۲۱۵۵ کیلوگرم در هکتار در گروه لاین‌های با عملکرد دانه پایین و ناپایدار طبقه‌بندی شد. به‌طورکلی، گروه‌بندی لاین‌های بهاره کلزا بر اساس اثر متقابل ژنوتیپ × محیط با استفاده از روش GGE بای‌پلات رهیافتی مفید برای آزادسازی ارقام کلزای بهاره با پتانسیل عملکرد بالا و پایدار برای محیط‌های هدف است.

واژه های کلیدی: کلزا بهاره، محیط کلان، سازگاری عمومی، سازگاری خصوصی.

نگارنده مسئول: amirioghan2014@yahoo.com تلفن: ۰۲۶۳۷۰۳۷۷۱

مقدمه

کلزا (*Brassica napus* L., 2n = 38) یکی از مهمترین گیاهان زراعی روغنی در جهان است. سالانه بیش از ۳۶ میلیون هکتار در جهان و بیش از ۱۰۰ هزار هکتار در ایران کشت می‌شود (Anonymous, 2009). این گیاه دارای ارزش اقتصادی و اجتماعی (Arun and Dalai, 2020)، صنعتی (Rempel *et al.*, 2020)، اکولوژیکی (Zeng *et al.*, 2020)، بهداشتی (Abdel-Moneim *et al.*, 2020) و تغذیه‌ای (Bocianowski *et al.*, 2020) بسیار بالایی است. بنابراین، توسعه کشت کلزا و نیز اجرای برنامه‌های تحقیقاتی از جمله پیش‌نیازهای اصلی جهت تامین روغن مورد نیاز کشور و راهبردی مفید جهت جلوگیری از واردات بی‌رویه آن و خروج ارز ملی است (Azizinia and Mortazavian, 2015).

یکی از مهمترین عوامل تولید پایدار و خودکفایی در این زمینه، اصلاح ژنوتیپ‌های کلزا با سازگاری و پایداری عملکرد دانه و روغن بالاست که این موارد یکی از مهمترین اهداف متخصصین به‌نژادی است. اصلاح عملکرد در گیاه کلزا علاوه بر دشواری‌های خاص خود به شرایط محیطی و به‌زراعی (Jankowski *et al.*, 2020) و نیز اثر متقابل محیط × ژنوتیپ (Hongyu *et al.*, 2014) وابسته است. بنابراین، به دست آوردن عملکرد دانه و روغن بالا به ارقامی با سازگاری خوب با شرایط محیطی مختلف وابسته است.

شناسائی ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا و پایدار در محیط‌های مختلف با استفاده از روش‌های پارامتری و غیر پارامتری انجام می شد (Ali *et al.*, 2003; Crossa, 1990; Falconer, 1952; Muir *et al.*, 1992)، اما متخصصین اصلاح نباتات در بررسی ارقام در محیط‌ها همواره با اثر متقابل ژنوتیپ × محیط روبرو هستند. بزرگی این اثر یا معنی‌دار بودن آنها به این معنی است که ارقام در محیط‌های مختلف واکنش متفاوتی نشان می‌دهند و ارزش اقتصادی آنها در محیط‌های مختلف تغییر می کند و این مساله منجر به کاهش کارایی انتخاب می گردد (Comstock and Moll, 1963; Getahun, 2017).

برای تعیین ژنوتیپ‌های برتر و پایدار در محیط‌های مختلف از روش‌ها و شاخص های مختلفی مانند عامل پایداری (Lewis, 1954)، اکووالانس (Wricke, 1962)، پایداری تایی (Tai, 1971)، واریانس پایداری (Shukla, 1972)، لین و همکاران (Lin *et al.*, 1986)، فینلی و ویلکینسون (Finlay and Wilkinson, 1963)، ابرهارت و راسل (Eberhart and Russell, 1966)، پرکینز و جینکز (Perkins and Jinks, 1968) و فریمن و پرکینز (Freeman and Perkins, 1971) استفاده شده است.

هر چند روش‌های فوق می‌توانند اثر متقابل را مشخص و اثر اصلی را متمایز کنند اما این روش‌ها توانایی تجزیه اثر متقابل

ژنوتیپ × محیط را بر اساس اساس تجزیه به مولفه های اصلی و ترسیم نمودار بای پلات را ندارند.

اخیرا محققین از روش چند متغیره بای‌پلات GGE (Yan and Tinker, 2006) و داده‌های مربوط به عملکرد ژنوتیپ‌ها در مکان‌های مختلف، ژنوتیپ‌ها یکسان و مختلف را بر اساس محاسبه G+GE با استفاده از تجزیه به مولفه‌های اصلی به صورت گرافیکی گروه‌بندی کرده‌اند و از این طریق روابط بین محیط‌ها و ژنوتیپ‌ها را مورد بررسی قرار داده‌اند (Gauch, 2013; Hongyu *et al.*, 2014). در این روش با استفاده از نمودار کدام-ژنوتیپ-کجا (Which-won-where) می‌توان واکنش هر ژنوتیپ در محیط‌های مختلف را تعیین و تفسیر کرد و از طرفی امکان مشاهده همزمان عملکرد و پایداری ژنوتیپ‌ها و نیز قابلیت تشخیص و تفسیر محیط‌های کلان امکان‌پذیر است.

بنابراین، هدف از اجرای این آزمایش بررسی سازگاری و پایداری عملکرد دانه لاین‌های کلزای بهاره در اقلیم‌های گرم و خشک جنوب و گرم و مرطوب شمال با استفاده از مدل GGE بای‌پلات جهت شناسایی اثر متقابل پیچیده ژنوتیپ × محیط، توصیف محیط‌های کلان و انتخاب ژنوتیپ‌های برتر بود.

مواد و روش‌ها

جهت مطالعه و بررسی سازگاری و پایداری عملکرد دانه لاین‌ها با شرایط محیطی گرم و خشک جنوب و گرم و مرطوب شمال ۱۵ لاین امید بخش کلزا بهاره به همراه رقم شاهد RGS003 (جدول ۱) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در چهار ایستگاه مختلف تحقیقات کشاورزی مناطق گرم و خشک جنوب و گرم و مرطوب شمال کشور [گرگان، ساری، زابل و برازجان (جدول ۲) به‌مدت دو سال زراعی (۹۵-۱۳۹۴ و ۹۶-۱۳۹۵)] کشت و ارزیابی شدند.

پاییز سال قبل زمین شخم زده شد. براساس آزمون خاک، میزان ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار اوره در سه مرحله (۷۰ کیلوگرم در هکتار در مرحله سه برگی، ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار در مرحله ساقه‌دهی و ۸۰ کیلوگرم در هکتار در مرحله غنچه دهی کامل)، ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار فسفات آمونیوم به صورت پایه، ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم به صورت پایه و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار سولفات آمونیوم در مرحله غنچه‌دهی کامل استفاده شد. وجین علف‌های هرز بسته به منطقه سه تا چهار بار به‌صورت دستی و آبیاری در مناطق گرم و خشک جنوب برحسب نیاز (پنج تا هفت بار) انجام شد.

هر کرت شامل چهار ردیف پنج متری به فواصل ۳۰ سانتی‌متر از یکدیگر بود. میزان بذر مصرفی شش کیلوگرم در هکتار محاسبه و کشت براساس دستورالعمل در تاریخ‌های مناسب مناطق هدف انجام شد. در طول دوره

جدول ۱- ژنوتیپ‌های بهاره مورد استفاده در آزمایش

Table 1. Spring oilseed rape genotypes used in the experiment

ژنوتیپ Genotype	کد/ نام ژنوتیپ Genotype code /name	نوع Type	منشأ Origin
G1	SRL-93-1	Open pollinated	Iran
G2	SRL-93-2	Open pollinated	Iran
G3	SRL-93-3	Open pollinated	Iran
G4	SRL-93-4 (Asa)	Open pollinated	Iran
G5	SRL-93-5	Open pollinated	Iran
G6	SRL-93-6	Open pollinated	Iran
G7	SRL-93-7	Open pollinated	Iran
G8	SRL-93-8 (Roshna)	Open pollinated	Iran
G9	SRL-93-9	Open pollinated	Iran
G10	SRL-93-10	Open pollinated	Iran
G11	RGS003	Open pollinated	Germany
G12	SRL-93-11	Open pollinated	Iran
G13	SRL-93-12 (Aram)	Open pollinated	Iran
G14	SRL-93-13	Open pollinated	Iran
G15	SRL-93-14	Open pollinated	Iran
G16	SRL-93-15	Open pollinated	Iran

جدول ۲. مختصات جغرافیایی و میانگین بارندگی سالانه در محل ها آزمایش

Table 2. Geographical coordinates and average rainfall in experiment locations

Location	محل	ارتفاع از سطح دریا (متر) Altitude above sea level (m)	طول جغرافیایی Longitude	عرض جغرافیایی Latitude	میانگین بارندگی سالانه (میلیمتر) Average annual rainfall (mm)
Gorgan	گرگان	155	54° 20´ E	36° 55´ N	460
Sari	ساری	29.00	53° 10´ E	36° 41´ N	650
Zabol	زابل	489.00	61° 32´ E	31° 5´ N	50
Borazjan	برازجان	80	51° 20´ E	29° 26´ N	217

رشد از سموم سیستمیک دیماکارون (نیم لیتر در هکتار) و اکاتین (یک لیتر در هکتار) برای کنترل شته مومی کلم استفاده شد. در زمان رسیدن فیزیولوژیکی، برداشت هر رقم برای محاسبه عملکرد دانه از دو خط میانی با حذف نیم متر از ابتدا و انتهای هر خط انجام شد.

جهت تجزیه و تحلیل داده‌ها، ابتدا آنها در نرم‌افزار EXCEL (ver. 2016)(EXCEL, 2016) وارد شدند و سپس تجزیه واریانس مرکب بر اساس موازین طرح بلوک‌های کامل تصادفی با استفاده از نرم افزار SAS (ver. 9.4) انجام شد (SAS, 2017). برای تعیین ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا و پایدار از روش بای‌پلات GGE (Yan and Tinker, 2006; Yang *et al.*, 2009) و نرم افزار GEA-R (Pacheco *et al.*, 2018) استفاده شد.

نتایج و بحث

تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که اثر محیط بر عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌داری بود (جدول ۳). معنی‌دار بودن اثر محیط دلالت بر اختلاف شرایط محیطی در مناطق و سال‌های مورد آزمایش بود. اثر متقابل ژنوتیپ × محیط بر عملکرد دانه نیز در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳) که این موضوع نشان دهنده واکنش متفاوت عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها نسبت به شرایط آب و هوایی سال‌های مختلف بود (Ghazvini *et al.*, 2019).

واکنش ژنوتیپ‌ها به محیط‌ها را اثر متقابل ژنوتیپ × محیط می‌نامند به طوری که هر چه مقدار این اثر بیشتر باشد، همبستگی بین ژنوتیپ و محیط‌ها کمتر شده و در نتیجه کارایی انتخاب شدیدا کاهش می‌یابد (Brandiej and Meverty, 1994). اثر متقابل ژنوتیپ × محیط یکی از مسائل پیچیده در برنامه‌های به‌نژادی گیاهان زراعی برای تهیه ژنوتیپ با عملکرد بالا و پایدار می‌باشد (Gauch, 2006).

اطلاعات حاصل از اثر متقابل ژنوتیپ × محیط کمک می‌کند تا ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا و پایدار با دقت بیشتری ارزیابی و انتخاب شدند (Roy, 2001). میاه و همکاران (Miah *et al.*, 2015) اثر متقابل ژنوتیپ × محیط را بررسی کردند و پایداری عملکرد دانه در ۱۶ ژنوتیپ کلزا در محیط‌های مختلف مورد بررسی متفاوت بود. نتایج مشابهی نیز در مطالعه سایر پژوهشگران (Javidfar *et al.*, 2010; Marjanović-Jeromela *et al.*, 2011; Nowosad *et al.*, 2016; Tadele *et al.*, 2018) گزارش شده است.

با توجه به اینکه تجزیه پایداری عملکرد دانه مهم‌ترین روش برای پی‌بردن به ماهیت اثر متقابل ژنوتیپ × محیط معنی دار می باشد، بنابراین برای گروه‌بندی لاین‌ها بر مبنای اثر متقابل ژنوتیپ × محیط از روش گرافیکی GGE بای‌پلات (Yan and Kang, 2002) استفاده شد. با استفاده از نمودار چند ضلعی GGE بای‌پلات می‌توان تفسیرهای گوناگونی انجام داد و

جدول ۳: تجزیه واریانس مرکب برای عملکرد دانه کلزا بهاره

Table 3: Combined analysis of variance for seed yield of spring rapeseed

S.O.V.	منبع تغییر	درجه آزادی df	مجموع مربعات Sum of squares	میانگین مربعات Mean squares
Environment (E)	محیط	7	39135719.18	5590817.03**
Error a	خطای الف	16	7676551.95	479784.50**
Genotype (G)	ژنوتیپ	15	13422838.46	894855.90
G × E	ژنوتیپ × محیط	105	48311360.53	460108.20**
Error b	خطای ب	240	30657980.72	127741.59

**: Significance at the %1 probability level.

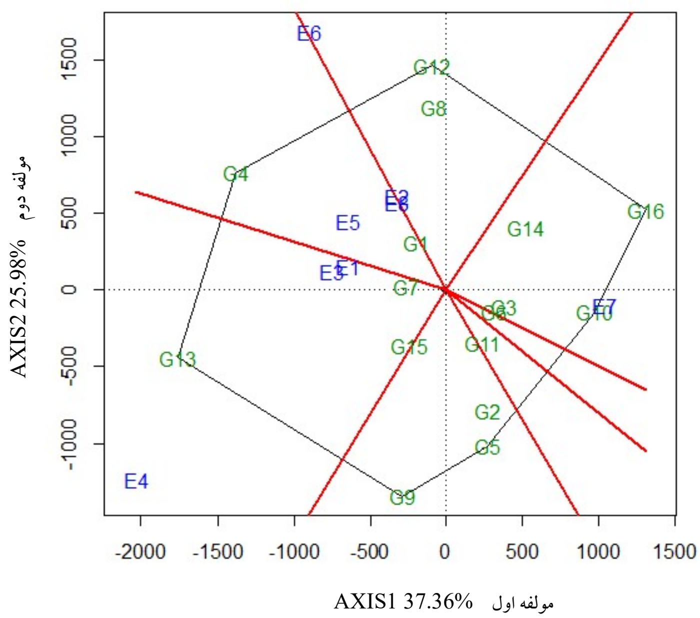
**: معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد.

بـه ماهیـت اثـر ژنوتیـپ و محـیط بـر روی صـفت مـورد مطالعـه پـی بـرد. ایـن رهیافـت توسـط سـایر محققـین نیـز بـه کـاربرده شـده است (Azizinia and Mortazavian, 2015; Javidfar *et al.*, 2010; Yan and Kang, 2002).

روش GGE بای‌پلات می‌تواند برای تعیین لاین‌های برتر کلزا برای یک محیط اختصاصی مورد استفاده قرار گیرد (Dehghani *et al.*, 2009; Miah *et al.*, 2015). نمودار دو بعدی اولـین مؤلفـه (37.36%) و دومـین مؤلفـه (25.98%) اثـر متقابـل جمعـا ۶۳/۳۴ درصـد از کـل واریـانس اثـر متقابـل را توضـیح داد (شکل ۱). مجموع دو مؤلفه اول و دوم نسبتی از تغییرات مشاهده شده را توضیح داد به طوری که این موضوع پیچیدگی اثر متقابل ژنوتیپ × محیط را نشان می‌دهد. بنابراین بررسی اثر متقابل ژنوتیپ × محیط با روش‌های چند متغیره سودمند می باشد (Javidfar *et al.*, 2010; Moreno-Gonzalez *et al.*, 2004; Yan *et al.*, 2007a).

با توجه به اینکه درصد تغییرات توضیح داده شـده توسـط دو مولفـه اول و دوم بیشـتر از ۶۰ درصد بود، بنابراین نتایج به دست آمده می‌تواند مبنای قضاوت جهت انتخاب لاین‌های پایدار مورد توجه قرار گیرد و در نتیجه گروه‌بندی ارقام و محیط‌ها بر روی مقادیر این مولفه‌ها انجام شد. برای شناسایی محیط‌های کلان و ژنوتیپ‌های برتر از نمودار چندوجهی GGE بای‌پلات استفاده شد. در نمودار چند ضلعی GGE بای‌پلات (شکل ۱) ژنوتیپ‌هایی که حداکثر فاصله را از مبدا (یا ژنوتیپ‌هایی که در راس اضلاع قرار دارند) می گیرند به یکدیگر وصل شده و یک چندوجهی حاصل می‌شود. سپس از مبدا مختصات خطی عمود بر اضلاع چندوجهی حاصل رسم شده و از این طریق محیط‌های کلان تعیین می‌شوند (Yan *et al.*, 2007b). شکل چند ضلعی حاصل از اتصال خطوط بین ژنوتیپ های انتهایی شامل G12، G4، G13، G9، G5، G10 و G16 نشان دهنده برترین یا ضعیف ترین ژنوتیپ ها در همه یا بعضی از محیط‌های آزمایشی هستند (Azizinia and Mortazavian, 2015; Miah *et al.*, 2015; Yan and Rajcan, 2002).

مطابق شکل ۱ با استفاده از دو مولفه اول و دوم، محیط‌ها به چهار محیط کلان مختلف و مجزا با چهار ژنوتیپ برتر G4، G8، G10 و G13 مشخص شدند. محیط کلان اول شامل گرگان (E6) بود که لاین G8 با عملکرد ۲۵۰۹ کیلوگرم در هکتار لاین برتر در آن تعیین شد و محیط کلان دوم شامل ساری (E5) بود که لاین G4 با عملکرد ۲۵۸۱ کیلوگرم در هکتار لاین برتر در آن محیط شناسایی شد (شکل ۱). محیط کلان سوم شامل ساری (E1) و زابل (E3) بود که لاین G13 با عملکرد ۲۷۷۴ کیلوگرم در هکتار لاین برتر در آن تعیین شد. محیط کلان چهارم شامل زابل (E7)



شکل ۱- نمودار چند ضلعی GGE بای‌پلات برای تعیین محیط‌های کلان و ژنوتیپ‌های برتر کلزا بهاره

Fig. 1. Polygonal of GGE biplot for determination of mega-environments and superior spring rapeseed genotypes

بود که لاین G10 با عملکرد ۲۲۶۸ کیلوگرم در هکتار به عنوان لاین برتر در آن محیط بود.

محیط‌های E2 و E8 به دلیل شرایط محیطی و مدیریتی در لایه مرزی دو محیط کلان E6 و E5 قرار گرفته در نتیجه کاشت دو لاین G4 و G8 در این دو محیط نیز قابل توصیه است. لازم به ذکر است هر چند برخی از محیط‌ها مانند ساری و زابل از لحاظ موقعیت جغرافیایی، ارتفاع از سطح دریا و مقدار بارندگی (جدول ۱) با یکدیگر اختلاف زیادی دارند، اما مدیریت مزرعه در شهرستان زابل (E3) به گونه‌ای بود که لاین G13 در آن منطقه عملکرد خوبی داشت و با عمکرد آن در ساری مشابهت داشت.

علاوه بر موارد فوق، در هر محیط کلان ژنوتیپ‌ها شباهت زیادی با یکدیگر داشتند. به عنوان مثال، در محیط کلان E6 لاین G12 به لاین G8، در محیط های کلان E1 و E3 لاین‌های G7 و G15 به لاین G13 و در محیط کلان E7 لاین‌های G3 و G14 با لاین G10 شباهت زیادی داشتند و سازگاری خوبی برای محیط‌های مذکور نشان دادند هر چند که به اندازه ژنوتیپ‌های برتر در آن محیط‌ها برتری نداشتند. همچنین، لاین‌های G2، G5، G6، G9 و G11 در هیچ یک از محیط های کلان قرار نگرفتند و در نتیجه مناسب کشت در محیط‌های

مورد آزمایش نبودند (Miah *et al.*, 2015).

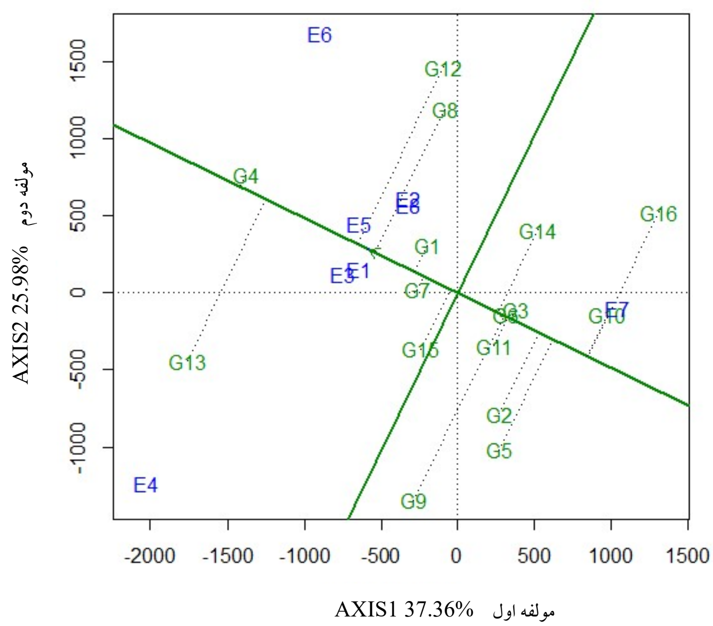
روش GGE بای‌پلات برای ارزیابی پایداری عملکرد ۲۴ ژنوتیپ کلزا در نه ایستگاه تحقیقاتی به مدت دو سال زراعی مورد استفاده قرار گرفت و گزارش شد که دو مولفه اصلی اول ۶۵ درصد از تغییرات مشاهده شده را توضیح داد و نمودار چند ضلعی بای‌پلات نشان داد که شش ژنوتیپ برتر در سه محیط کلان وجود داشتند (Javidfar *et al.*, 2010). میاه و همکاران (Miah *et al.*, 2015) نیز با استفاده از GGE بای‌پلات ۱۶ لاین کلزا (۱۰ لاین A و سه لاین R و سه واریته) را در سه محیط در طی سه سال مورد بررسی قرار دادند و وجود سه محیط کلان با سه ژنوتیپ برتر را گزارش کردند.

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که به‌نژادی برای سازگاری خصوصی باید به عنوان یک راهبرد در برنامه های به‌نژادی با توجه به اثر متقابل مثبت ژنوتیپ × محیط برای افزایش تولید و بهره برداری محصول کلزا در این مناطق در نظر گرفته شود. اگر در آزمایش‌های مشابهی نیز وجود این محیط های کلان تایید شود، می‌توان از آنها برای آزمایش‌های سازگاری در آینده استفاده کرد (Yan *et al.*, 2000; Yan and Hunt, 2001).

با استفاده از نمودار دو بعدی مختصات تستر میانگین G + GE پایداری عملکرد دانه ژنوتیپ‌های کلزا بهاره مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۲). خط افقی با دایره و فلش نشان دهنده پایداری عملکرد دانه است و لاین‌هایی که به این محور نزدیک باشد عملکرد پایدارتر دارند (Yan *et al.,* 2000). همچنین، خط عمودی نشان دهنده میانگین عملکرد لاین‌ها است و لاین‌های موجود در سمت چپ و راست آن به ترتیب دارای عملکرد دانه بیشتر و کمتر از میانگین عملکرد دانه کل بودند (شکل ۲).

بر اساس محور افقی، لاین‌های G3 و G6 با عملکرد کمتر از میانگین کل و IPCs منفی با کمترین فاصله از این محور از جمله لاین‌های با عملکرد پایدار هستند در حالی که لاین‌های G12 و G9 به ترتیب با IPC مثبت و منفی با بیشترین فاصله از ژنوتیپ های با عملکرد ناپایدار شناخته شدند (شکل ۲). استفاده از محور مختصات تستر میانگین در روش GGE بای‌پلات از جمله روش‌های مفید تجزیه پایداری عملکرد است و اطلاعات مفیدی از نحوه عملکرد ژنوتیپ‌های مورد بررسی ارائه می‌دهد (Javidfar *et al.*, 2010; Kaya *et al.*, 2006; Samonte *et al.*, 2005).

در آزمایشات سازگاری تنها توجه به پایداری عملکرد دانه مورد نظر نیست و باید هر دو ویژگی عملکرد دانه بالا و پایدار را در نظر گرفت چرا که در این حالت ممکن است ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا با پایداری نسبی که منجر به افزایش تولید در یک محیط خاص خواهد شد نادیده گرفته شوند (Javidfar *et al.*, 2010). بنابراین، لاین‌های G4، G8 و G13 دارای عملکرد بالاتر از میانگین کل و پایدار بودند که در بین آنها لاین



شکل ۲- نمودار تستر میانگین G + GE بای‌پلات برای پایداری عملکرد دانه ژنوتیپ‌های کلزا بهاره

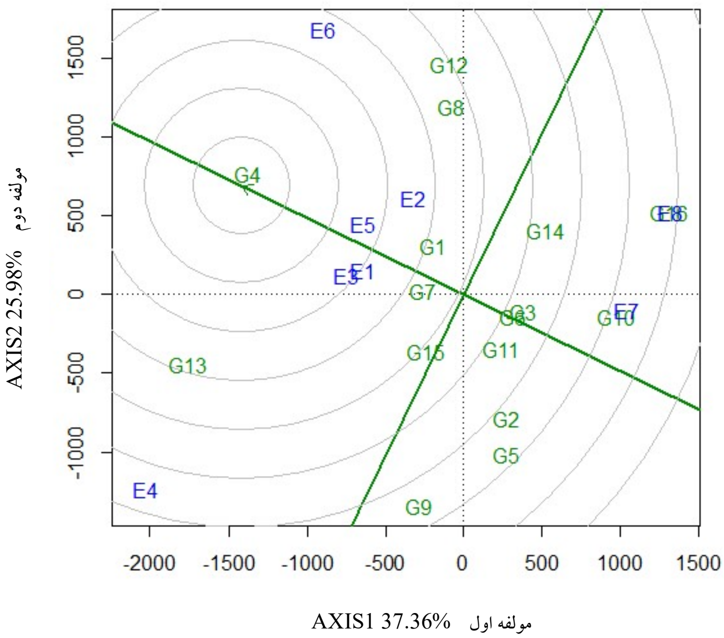
Fig. 2. The average G + GE tester biplot for grain yield stability of spring rapeseed genotypes

G4 پایداری عملکرد بالاتری نسبت به سایر لاین‌ها داشت (شکل ۲).

برای تعیین فاصله لاین‌ها از لاین ایده‌آل فرضی، از نمودار لاین ایده‌آل استفاده شد (شکل ۳). لاین ایده‌آل فرضی بر اساس پرمحصول‌ترین لاین با پایدارترین عملکرد تعریف می‌شود. به عبارت دیگر بر اساس لاین‌های مورد بررسی، لاینی مطلوب، تعریف می‌شود که دارای حداکثر عملکرد و حداکثر پایداری عملکرد باشد و هر لاینی که نزدیک‌ترین فاصله را به این لاین فرضی داشته باشد به عنوان یک لاین برتر محسوب می‌شود (Yan and Kang, 2002).

به نظر یان و همکاران (Yan *et al.*, 2000) و یان و کانگ (Yan and Kang, 2002) ژنوتیپی به عنوان ژنوتیپ ایده آل فرضی است که رتبه IPC1 آن بالا بوده (قابلیت تولید عملکرد بالا در تمام محیط‌ها) و رتبه IPC2 آن کوچک یا صفر (پایداری عملکرد بالا در تمام محیط‌ها) باشد. بر اساس شکل ۳، لاین G4 با قرار گرفتن در مرکز دایره لاین ایده آل فرضی و لاین G13 با کمترین فاصله از لاین ایده‌آل فرضی G4 به عنوان برترین ژنوتیپ ها شناخته شدند. بعلاوه، لاین G16 با داشتن بیشترین فاصله از ژنوتیپ ایده‌آل فرضی به عنوان لاین نامطلوب تعیین شد (شکل ۳).

محیط آزمایشی کامل محیطی است که دارای رتبه IPC1 بالا باشد بدین معنی که آن

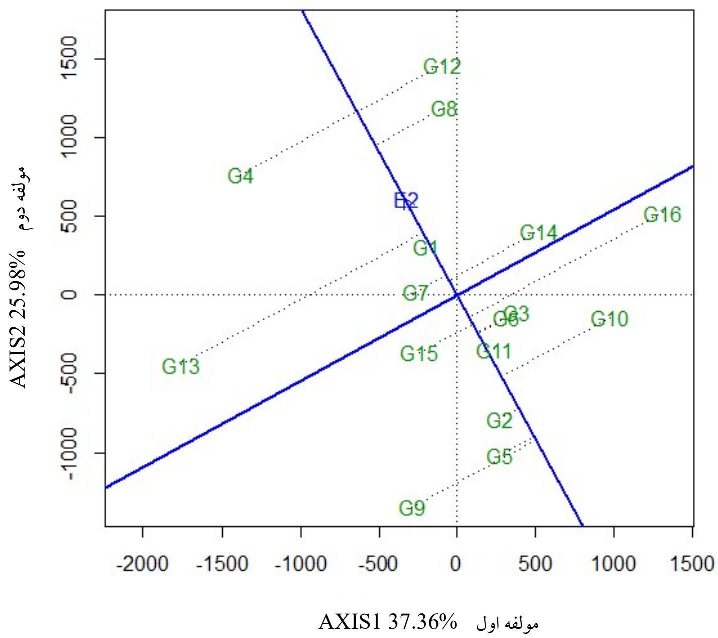


شکل ۳- مقایسه ژنوتیپ‌های کلزا بهاره با ژنوتیپ ایده آل بر اساس عملکرد دانه و پایداری عملکرد

Fig. 3. Comparison of spring rapeseed genotypes with ideal genotype based on seed yield and yield stability

محیط دارای بیشترین ژنوتیپ‌های تاثیرگذار بر اثر اصلی ژنوتیپی باشد و از طرفی دارای رتبه IPC2 کوچک یا صفر باشد بدین معنی که بیانگر اثر محیطی کل باشد. محیط گرگان (E2) دارای بیشترین عملکرد دانه بود و در لایه مرزی محیط کلان E6 قرار گرفت و نیز در لایه مرزی مشابه، به محیط برازجان (E8) شباهت زیادی داشت. بنابراین لاین‌های G1، G8 و G12 قابلیت کشت در این محیط را دارند. بنابراین عملکرد ژنوتیپ‌ها در این محیط مورد بررسی قرار گرفت. در شکل ۴، لاین‌های موجود در سمت راست فلش مربوط به گرگان (E2)، به عنوان بهترین لاین‌ها و لاین‌های موجود در سمت چپ به عنوان لاین‌های نامطلوب بودند. خط عمود بر خط فلش‌دار لاین‌ها را بر اساس میانگین کل به دو گروه بالاتر از میانگین و پایین‌تر از میانگین تقسیم می‌کنند. بنابراین، لاین‌های G8 و G9 در محیط گرگان (E2) به ترتیب به عنوان بهترین و بدترین لاین‌ها بودند (شکل ۴)

استفاده از روش‌های چند متغیره مانند GGE بای‌پلات یک رهیافت قدرتمند برای بررسی ماهیت چند بعدی و پیچیده اثر متقابل ژنوتیپ × محیط و حصول نتایج معتبرتر است. بررسی نتایج نشان داد که چهار محیط کلان تعیین شده با استفاده از مدل GGE بای پلات از لحاظ



شکل ۴- نمودار بای‌پلات برای مقایسه لاین‌های کلزا بهاره در محیط گرگان (E2)

Fig. 4. Biplot for comparison of spring rapeseed lines in Gorgan environment (E2)

شرایط بوم شناختی مانند مقدار بارش، دما، تابش نور، طول دوره آفتابی و ... تفاوت زیادی با یکدیگر دارند. به عنوان مثال، محیط گرگان دارای میانگین بارندگی سالانه بالا نسبت به محیط‌هایی مانند برازجان یا زابل است. بنابراین، لاین‌های G4، G8 و G13 به ترتیب برای محیط کلان پر باران (مانند گرگان) یا محیط‌های کلان ترکیبی پرباران یا آبیاری فراوان (ساری-زابل) مناسب هستند. این لاین‌ها بعد از انجام آزمایش‌های تحقیقی-ترویجی، به‌ترتیب تحت عنوان ارقام آسا، روشنا و آرام در کمیته معرفی رقم کشور تایید و نامگذاری و آزادسازی شدند. از طرفی، لاین G10 مناسب محیط کلان زابل با کمترین مقدار بارش بود.

بر اساس نتایج حاصل نتیجه‌گیری شد که اگرچه اصلاح ارقام سازگار و با عملکرد بالا و پایدار برای اقلیم گرم و خشک جنوب و گرم و مرطوب شمال ایران دارای مشکلات و شرایط خاصی می‌باشد، ولی انتخاب ژنوتیپ‌های با عملکرد بالاو پایدار با سازگاری عمومی و خصوصی با استفاده از اطلاعات حاصل از این گونه روش‌های تجزیه و تحلیل پایداری عملکرد، امکان‌پذیر می باشد.

سپاسگزاری

در تهیه مقاله از نظرات ارزشمند آقای دکتر کمال پیغام‌زاده استادیار پژوهش مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان

گلستان و نیز در اجرای آزمایش از کمک‌های ارزنده کمک کارشناسان و کارشناسان ایستگاه های محل اجرای آزمایشات بهره‌مند شدیم. بنابراین از این همکاری‌ها کمال تشکر را داریم. همچنین از موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر به‌خاطر تامین هزینه‌های اجرایی تحقیق در قالب پروژه پژوهشی به شماره مصوب ۰-۰۳-۰۳-۹۴۳۰۹ سپاسگزاری می‌شود.

References

Abdel-Moneim, A. M. E., Sabic, E. M., Abu-Taleb, A. M., and Ibrahim, N. S. 2020. Growth performance, hemato-biochemical indices, thyroid activity, antioxidant status, and immune response of growing Japanese quail fed diet with full-fat canola seeds. Tropical Animal Health and Production 1–10.

Ali, N., Javidfar, F., and Mirza, Y. 2003. Selection of stable rapeseed (*Brassica napus* L.) genotypes through regression analysis. Pakistan Journal of Botany 35 (2): 175–180.

Anonymous, 2018. FAO Statistical Data. Available on: www.faostat.org.

Arun, N., and Dalai, A. K. 2020. Environmental and socioeconomic impact assessment of biofuels from lignocellulosic biomass. Lignocellulosic Biomass to Liquid Biofuels 283–299

Azizinia, S., and Mortazavian, M. M. 2015. A yield stability survey in winter type canola using univariate methods and genotypic distribution pattern. Journal of Crop Production and Processing 5 (15): 57–68.

Bocianowski, J., Liersch, A., and Nowosad, K. 2020. Genotype by environment interaction for alkenyl glucosinolates content in winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) using additive main effects and multiplicative interaction model. Current Plant Biology 100137.

Brandiej, E., and Meverty, B. E. 1994. Genotype × environmental interaction and stability of seed yield of oil rapeseed. Crop Science 18: 344–353.

Comstock, R. E., and Moll, R. H. 1963. Genotype-environment interactions. pp. 164-196. In: Hanson, D., and Robinson, H. F. (eds.) statistical genetics and plant breeding. Washington, National Academy of Science.

Crossa, J. 1990. Statistical analyses of multilocation trials. Advances in Agronomy 44:

55–85.

Dehghani, H., Sabaghnia, N., and Moghaddam, M. 2009. Interpretation of genotype-by-environment interaction for late maize hybrids' grain yield using a biplot method. Turkish Journal of Agriculture and Forestry 33 (2): 139–148.

Eberhart, S. A. T, and Russell, W. A. 1966. Stability parameters for comparing varieties. Crop Science 6 (1): 36–40.

Excel. 2016. Microsoft office excel spreadsheet software. Microsoft Corporation One Microsoft Way Redmond, WA 98052-6399, USA.

Falconer, D. S. 1952. The problem of environment and selection. The American Naturalist 86 (830): 293–298.

Finlay, K. W., and Wilkinson, G. N. 1963. The analysis of adaptation in a plant-breeding programme. Australian Journal of Agricultural Research 14 (6): 742–754.

Freeman, G. H., and Perkins, J. M. 1971. Environmental and genotype-environmental components of variability VIII. Relations between genotypes grown in different environments and measures of these environments. Heredity 27 (1): 15–23.

Gauch, H. G. 2006. Statistical analysis of yield trials by AMMI and GGE. Crop Science 46 (4): 1488–1500.

Gauch, H. G. 2013. A simple protocol for AMMI analysis of yield trials. Crop Science 53 (5): 1860–1869.

Getahun, A. 2017. Adaptability and stability analysis of groundnut genotypes using AMMI model and GGE-biplot. Journal of Crop Science and Biotechnology 20 (5): 343–349.

Ghazvini, H., Marandi, M., and Amini Sefidab, A. 2019. Evaluation of grain yield stability and genetic variation in salt-tolerant bread wheat promising lines and cultivars. Seed and Plant Journal 35 (1): 1–25 (in Persian).

Hongyu, K., García-Peña, M., de Araújo, L. B., dos Santos Dias, C. T., Araújo, L. B. de, Santos Dias, C. T. dos, de Araújo, L. B., and dos Santos Dias, C. T. 2014. Statistical analysis of yield trials by AMMI analysis of genotype×environment interaction. Biometrical Letters 51 (2): 89–102.

Jankowski, K. J., Załuski, D., and Sokólski, M. 2020. Canola-quality white mustard: Agronomic management and seed yield. Industrial Crops and Products 145: 112138.

Javidfar, F., Alizadeh, B., Amiri Oghan, H., and Sabaghnia, N. 2010. A study of genotype by environment interaction in oilseed rape genotypes using GGE Biplot method. Iranian Journal of Field Crop Science 41 (4): 771–779.

Kaya, Y., Akçura, M., and Taner, S. 2006. GGE-biplot analysis of multi-environment yield trials in bread wheat. Turkish Journal of Agriculture and Forestry 30 (5): 325–337.

Lewis, D. 1954. Gene-environment interaction: A relationship between dominance, heterosis, phenotypic stability and variability. Heredity 8 (3): 333–356.

Lin, C. S., Binns, M. R., and Lefkovitch, L. P. 1986. Stability analysis: Where do we stand? Crop Science 26 (5): 894–900.

Marjanović-Jeromela, A., Nagl, N., Gvozdanović-Varga, J., Hristov, N., Kondić-Špika, A., and Marinković, M. V. R. 2011. Genotype by environment interaction for seed yield per plant in rapeseed using AMMI model. Pesquisa Agropecuária Brasileira 46 (2): 174–181.

Miah, M. A., Rasul, M. G., Mian, M. A. K., and Rohman, M. M. 2015. Evaluation of rapeseed lines for seed yield stability. International Journal of Agronomy and Agricultural Research 7: 12–19.

Moreno-Gonzalez, J., Crossa, J., and Cornelius, P. L. 2004. Genotype × environment interacion in multi-environment trials using shrinkage factors for AMMI models. Euphytica 137 (1): 119–127.

Muir, W., Nyquist, W. E., and Xu, S. 1992. Alternative partitioning of the genotype-by-environment interaction. Theoretical and Applied Genetics 84 (1–2): 193–200.

Nowosad, K., Liersch, A., Popławska, W., and Bocianowski, J. 2016. Genotype by environment interaction for seed yield in rapeseed (*Brassica napus* L.) using additive main effects and multiplicative interaction model. Euphytica 208 (1): 187–194.

Pacheco, Á., Vargas, M., Alvarado, G., Rodríguez, F., Crossa, J., and Burgueño, J. 2018. GEA-R (genotype × environment analysis with R for windows) version 4.1.

Perkins, J. M., and Jinks, J. L. 1968. Environmental and genotype-environmental

components of variability. Heredity 23 (3): 339–356.

Rempel, C., Li, X., Geng, X., Liu, Q., and Zhang, Y. 2020. Manufacture of defatted canola meal with enhanced nutritive composition by air classification on an industrial scale. Journal of the Science of Food and Agriculture 100 (2): 764–774.

Roy, D. 2001. Plant Breeding: Analysis and exploitation of variation. Alpha Science International. 701 pp.

Samonte, S. O. P. B. B., Wilson, L. T., McClung, A. M., and Medley, J. C. 2005. Targeting cultivars onto rice growing environments using AMMI and SREG GGE biplot analyses. Crop Science 45 (6): 2414–2424.

SAS. 2017. Step-by-step programming with Base SAS® 9.4. Second Edition. Cary, NC: SAS Institute Inc.

Shukla, G. K. 1972. Some statistical aspects of partitioning genotype-environmental components of variability. Heredity 29 (2): 237–245.

Tadele, T., Gashaw, S., and Amanuel, T. 2018. Genotypes × environment interaction analysis for Ethiopian mustard (*Brassica carinata* L.) genotypes using AMMI model. Journal of Plant Breeding and Crop Science 10 (4): 86-92.

Tai, G. C. C. 1971. Genotypic stability analysis and its application to potato regional trials. Crop Science 11 (2): 184–190.

Wricke, G. 1962. Uber eine methode zur erfassung der okologischen streubreite in feldverzuchen. Z. Pflanzenzucht 47: 92–96.

Yan, W., and Hunt, L. A. 2001. Interpretation of genotype × environment interaction for winter wheat yield in Ontario. Crop Science 41 (1): 19–25.

Yan, W., Hunt, L. A., Sheng, Q., and Szlavnics, Z. 2000. Cultivar evaluation and mega environment investigation based on the GGE biplot. Crop Science 40 (3): 597–605.

Yan, W., and Kang, M. S. 2002. GGE biplot analysis: a graphical tool for breeders, geneticists, and agronomists. CRC Press. Boca Raton, Florida, USA. 288 pp.

Yan, W., Kang, M. S., Ma, B., Woods, S., and Cornelius, P. L. 2007. GGE biplot vs. AMMI analysis of genotype-by-environment data. Crop Science 47 (2): 643–653.

Yan, W., and Rajcan, I. 2002. Biplot analysis of test sites and trait relations of soybean

in Ontario. Crop Science 42 (1): 11–20.

Yan, W., and Tinker, N. A. 2006. Biplot analysis of multi-environment trial data: Principles and applications. Canadian Journal of Plant Science 86 (3): 623–645.

Yang, R. C., Crossa, J., Cornelius, P. L., and Burgueño, J. 2009. Biplot analysis of genotype × environment interaction: Proceed with caution. Crop Science 49 (5): 1564–1576.

Zeng, X., Zou, D., Wang, A., Zhou, Y., Liu, Y., Li, Z., Liu, F., Wang, H., Zeng, Q., and Xiao, Z. 2020. Remediation of cadmium-contaminated soils using *Brassica napus*: Effect of nitrogen fertilizers. Journal of Environmental Management 255: 109885.